Note de recherche forestière n° 134

Évolution du dépassement de la charge critique d'acidité des écosystèmes forestiers du Québec (période de 1994-1998 à 1999-2002)

Rock Ouimet, ing.f., *Ph. D.* et Louis Duchesne, ing.f., M. Sc.

F.D.C. 425
L.C. SD 387.E58

Résumé

Nous avons évalué l'évolution d'un indicateur d'aménagement durable des forêts se rapportant à l'état, la résilience et la productivité des écosystèmes forestier au Québec : l'indicateur des précipitations acides (charges critiques). La période étudiée est de 1994-1998 à 1999-2002. Des précisions méthodologiques ont été apportées au premier portrait de la période 1994-1998 pour le rendre comparable à celui de 1999-2002. L'étude indique que l'acidité des dépôts atmosphériques a connu une baisse sur 74,3 % du territoire forestier entre les deux périodes. Le dépassement de la charge critique à court terme (appauvrissement du sol à court terme par le S) a connu aussi une baisse de 27,5 % en général au Québec entre les deux périodes. Cependant, il s'est accru dans quatre régions (Québec, Outaouais, Saguenay–Lac-Saint-Jean et Côte-Nord) en raison de l'augmentation du volume récolté par arbre entier dans ces régions. Le dépassement de la charge critique à long terme (appauvrissement du sol à long terme par le S+N) a connu une baisse de 18,4 % en général au Québec entre les deux périodes, sauf dans les régions du nord du Québec forestier. Cette augmentation dans le nord est vraisemblablement attribuable à un artéfact dans l'estimation des dépôts atmosphériques en 1994-1998.

Mots clés : Charge critique, critères et indicateurs, écosystèmes forestiers, acidification

Abstract

The trend from 1994-1998 to 1999-2002 was evaluated for an indicator of sustainable forest management reporting on the status, resilience, and productivity of forest ecosystems in Québec: acid deposition (critical loads). Methodological changes were brought to the first assessment made in 1994-1998 to make it comparable to the one made in 1999-2002. The study indicates that acid deposition has decreased over 74.3% of the forest territory between the two periods. Critical load exceedances in the short term (S) also have decreased by 27.5% on average in Québec between the two periods. However, they have increased in four regions (Québec, Outaouais, Saguenay-Lac-St-Jean, and Cote-Nord) because of increased whole-tree harvesting in these regions. Critical load exceedances in the long term (S+N) have decreased by 18.4% on average in Québec between the two periods, except in the northern forested areas. This increase in the north is however attributable to a bias in the 1994-1998 atmospheric deposition.

Key words : Critical loads, criteria and indicators, forest ecosystems, acidification

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein
Québec (Québec) G1P 3W8
Téléphone : 418 643-7994
Télécopieur : 418 643-2165
Courriel : recherche.forestiere@mrnf.gouv.qc.ca
Site Internet : www.mrnf.gouv.qc.ca

Québec

Introduction

En avril 1996, le gouvernement du Québec introduisait six critères d'aménagement durable des forêts (ADF) dans la disposition préliminaire de la Loi sur les forêts. Ces critères résultent des travaux du Conseil canadien des ministres des forêts (CCMF), dont fait partie le MRNF, et du Processus de Montréal[1], un groupe de travail formé de douze pays, le Canada compris.

À la suite de l'introduction de ces critères, le Ministère a mis en place un projet de suivi des indicateurs de l'ADF : le projet INDI. Les objectifs de ce projet sont :

• établir un portrait juste de l'état et de l'évolution de la forêt québécoise selon des critères de l'aménagement durable des forêts;

• fournir des outils d'analyse qui permettent aux décideurs de vérifier si les pratiques forestières contribuent à l'aménagement durable des forêts dans le contexte de gestion de la forêt québécoise et d'apporter des modifications, les cas échéant;

• informer le public de l'état des forêts et des progrès réalisés au Québec en matière d'aménagement durable des forêts. Les indicateurs sont réévalués à mesure que les nouvelles données sont disponibles.

L'indicateur qui fait l'objet de cette note de recherche se situe comme suit dans la hiérarchie du projet INDI :

- Critère 2. Maintien et amélioration de l'état et de la productivité des écosystèmes forestiers;

- Groupe d'indicateurs 2.1. État, résilience et productivité des écosystèmes forestiers;

- Indicateur 2.1.6. Précipitations acides et écosystèmes forestiers.

Depuis les années 1980, les états de l'Amérique du Nord s'emploient à réduire les émissions à l'origine des précipitations acides. Ces émissions sont produites par l'utilisation des carburants fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel, etc.), laquelle entraîne le rejet de grandes quantités de polluants dans l'atmosphère, notamment les oxydes de soufre et d'azote. On estime qu'environ 75 % des retombées acides au Québec proviennent de sources d'émissions des États-Unis et de l'Ontario (Vet *et al.* 2005). Celles-ci constituent une charge d'acidité susceptible de nuire à plus ou moins long terme au fonctionnement et à la productivité des écosystèmes forestiers. Bien qu'elles aient connu une baisse marquée, les retombées demeurent relativement importantes encore de nos jours au Québec (Ouimet et Duchesne 2009). Lorsque les retombées acides dépassent la capacité du sol à les neutraliser, la productivité des écosystèmes peut en être affectée (Ouimet *et al.* 2001, Thomsen et Nellemann 2003, Ouimet *et al.* 2008, Johnson *et al.* 2009).

Afin d'évaluer l'état des forêts en rapport avec les précipitations acides, le Ministère a adopté un indicateur qui permet d'exprimer la résilience des sols des écosystèmes forestiers aux précipitations acides. Cet indice est le dépassement de la charge critique d'acidité, c'est-à-dire le surplus d'acidité que l'écosystème ne peut neutraliser annuellement.

Le premier portrait de cet indicateur a été produit pour la période 1994-1998 (Ouimet 2005). Le second portrait récemment publié couvre la période 1999-2002 (Ouimet et Duchesne 2008). Cependant, pris tel quel, ces deux portraits sont très difficilement comparables en raison des modifications méthodologiques majeures apportées à la dernière évaluation, en particulier l'échelle qui est passée du district écologique à la tesselle. Nous avons donc repris l'évaluation 1994-1998 en y incorporant les précisions méthodologiques qui ont été utilisées pour faire l'évaluation de la période 1999-2002, afin de rendre les deux périodes comparables, et ainsi pouvoir déterminer l'évolution de cet indicateur d'aménagement durable des forêts.

Matériel et méthodes

La charge critique est définie comme « une évaluation quantitative de la mesure de l'exposition à un ou plusieurs polluants en dessous de laquelle les éléments de l'environnement ne subissent aucun dommage significatif à court ou long terme, selon les connaissances actuelles ». Pour évaluer les charges critiques, nous avons employé le modèle *Simple Mass Balance* (SMB) basé principalement sur le bilan entrées-sorties de l'écosystème. En bref, le bilan des éléments nutritifs d'un écosystème forestier est fonction de quatre facteurs : 1) les apports

[1] Le groupe de travail du Processus de Montréal a défini des critères et indicateurs pour la conservation et l'aménagement durable des forêts boréales et tempérées.

atmosphériques, 2) le taux d'altération chimique des sols, 3) l'exportation de biomasse hors du site et 4) les pertes par drainage. Les deux premiers facteurs représentent des entrées dans l'écosystème, tandis que les deux derniers représentent des sorties de l'écosystème. Bien qu'elle ne se produise qu'à des intervalles plus ou moins long dans le temps, l'exportation de biomasse est rapportée sur une base annuelle compatible avec les autres facteurs du calcul du bilan, car les éléments sont immobilisés dans l'accroissement annuel de la biomasse. Le lecteur qui désire en connaître davantage sur ce modèle est invité à consulter UBA (2004) ou OUIMET et DUCHESNE (2008).

Pour cet exercice, nous avons évalué le dépassement de la charge critique à court terme et celle à long terme à l'échelle de la tesselle (n = 3,066,695 tesselles de forêt). La tesselle est une tuile d'environ 14 ha, à laquelle sont rattachés les attributs écoforestiers du peuplement qui se trouve en son centre. La charge critique à court terme ne considère que les éléments acidifiants à court terme (par ex. : le SO_4^{2-}) et ne considère donc pas l'azote (N). La charge critique à long terme considère tous les éléments acidifiants, y compris ceux qui ont le potentiel de le devenir à long terme (comme le N).

Les seuls éléments sujets à changement entre les deux périodes d'évaluation sont 1) les dépôts atmosphériques fournis par le Service météorologique du Canada (RO et VET 2002, VET et SHAW 2004, SHAW *et al.* 2006) et 2) la proportion des volumes issus de la récolte des troncs et de la récolte des arbres entiers de chaque unité de gestion du MRNF. Dans ce cas, nous avons extrapolé les proportions rapportées sur les terres publiques aux terres privées. Ces proportions proviennent des rapports annuels sur les procédés de récolte du bois produits par la Direction du soutien aux opérations faune et forêts du secteur des opérations régionales du MRNF (voir l'indicateur 2.1.1 du projet INDI: Procédés de récolte et fertilité des sols). Dans le modèle SMB, nous assumons que tout l'accroissement en volume marchand sera récolté entièrement, c'est-à-dire qu'il sera exporté entièrement hors des sites.

Période 1999-2002

L'évaluation de la charge critique à court et long terme de la période 1999-2002 provient essentiellement des données d'origine présentées dans le rapport de OUIMET et DUCHESNE (2008), auxquelles nous avons intégré les pourcentages moyens de récolte des troncs et des arbres entiers de chaque région (voir indicateur 2.1.1 du projet INDI) au cours de la période 1999-2002. La proportion de récolte des troncs de l'Unité de gestion des Laurentides de la région administrative de la Capitale-Nationale-Chaudières-Appalaches du MRNF n'était pas disponible pour cette période. Nous avons estimé sa valeur à 43,56 %, basée sur sa proportion initiale 1994-1998 (60,8 %) et sur l'évolution moyenne à la baisse de ces proportions en 1999-2002 au Québec.

Période 1994-1998

L'évaluation de la charge critique à court et long terme de la période 1994-1998 a été effectuée en utilisant la même base de données des peuplements rattachés aux tesselles de la période 1999-2002, à laquelle ont été intégrés 1) les dépôts atmosphériques humides et secs moyens annuels de 1994-1998 (OUIMET 2005) et 2) les pourcentages moyens de récolte des troncs et des arbres entiers au cours de la période 1994-1998 de chaque unité de gestion du MRNF (voir l'indicateur 2.1.1 du projet INDI).

Résultats et discussion

Évolution du dépassement de la charge critique

Charge critique à court terme

Le dépassement de la charge critique à court terme a connu une baisse de 27,5 % en général au Québec entre les périodes 1994-1998 et 1999-2002 (Tableau 1). Au total, 85,7 % du territoire forestier a connu une baisse de la valeur de cet indicateur (Figure 1). Le pourcentage de territoire forestier qui avait un dépassement de la charge critique de ≥ +200 éq ha^{-1} a^{-1} en 1994-1998 a diminué de 32,7 % en 1999-2002. Cette baisse s'est produite dans toutes les régions du Québec (Figure 2A).

L'augmentation du dépassement de la charge critique à court terme entre les deux périodes d'évaluation s'est produite dans quatre régions seulement : Capitale-Nationale-Chaudières-Appalaches (U.G. des Appalaches), Outaouais (U.G. de Coulonge, de la Haute-Gatineau et de Cabonga), Saguenay–Lac-Saint-Jean (U.G. de la Rivière Péribonka, de Saint-Félicien, de Chibougamau et de Mistassini) et Côte-Nord (U.G. de Manicouagan-Outardes, de Sept-Îles, de Havre-Saint-Pierre et d'Anticosti) (Figure 1). Cependant, dans le cas des

Tableau 1. Évolution du dépassement de la charge critique dans les forêts du Québec entre 1994-1998 et 1999-2002

Indicateur	Pourcentage du territoire forestier cartographié (%)		Changement (%)
	1994-1998	1999-2002	
Dépassement de la charge critique à court terme	34,82	25,24	-27,5
Dépassement de la charge critique à court terme ≥ 200 éq ha^{-1} a^{-1}	17,39	11,70	-32,7
Dépassement de la charge critique à long terme	59,66	48,70	-18,4
Dépassement de la charge critique à long terme ≥ 200 éq ha^{-1} a^{-1}	38,19	27,96	-26,8

U.G. de Mistassini, de Manicouagan-Outardes et d'Anticosti, le dépassement des charges critiques est demeuré négatif; cela signifie que le pouvoir tampon des écosystèmes forestiers de ces unités a diminué, mais qu'il demeure encore suffisant pour neutraliser toutes les sources d'acidité à court terme. Seulement 9,2 % du territoire forestier a connu une augmentation de plus de 10 % du dépassement de ≥ +200 éq ha^{-1} a^{-1} de la charge critique à court terme. Cette augmentation est située principalement dans la région de l'Outaouais (U.G. de la Haute-Gatineau et de Cabonga) (Figure 2A).

Charge critique à long terme

Le dépassement de la charge critique à long terme a connu une baisse de 18,4 % en général au Québec entre les périodes 1994-1998 et 1999-2002 (Tableau 1). Au total, 81,3 % du territoire forestier a connu une baisse de la valeur de cet indicateur (Figure 1). Le pourcentage de territoire forestier pour lequel la charge critique était dépassées de +200 éq ha^{-1} a^{-1} en 1994-1998 a diminué de 26,8 % en 1999-2002. Cette baisse s'est produite dans toutes les régions du Québec (Figure 2A).

La majorité des régions du nord du Québec forestier montre une augmentation du dépassement de la charge critique à long terme, entre les deux périodes d'évaluation (Figures 1 et 2B).

Causes des changements observés

L'acidité des dépôts atmosphériques a connu une baisse sur 74,3 % du territoire forestier entre 1994-1998 et 1999-2002, principalement dans le sud du Québec (Figure 3). L'augmentation de l'acidité des dépôts atmosphériques dans le nord du Québec est attribuable à une meilleure estimation des dépôts humides de ces régions. L'évaluation des dépôts atmosphériques 1999-2002, du Service météorologique du Canada, comprenait plusieurs stations situées dans la partie est du Golfe du Saint-Laurent (Shaw *et al.* 2006), ce qui a considérablement augmenté les dépôts humides de ces régions du nord comparativement à la période 1994-1998. Ce changement observé dans l'acidité des dépôts de cette région serait donc attribuable à l'existence d'un artéfact dans l'estimation des dépôts humides pour la période 1994-1998.

Par ailleurs, l'acidité générée par la récolte de la matière ligneuse a changé entre les deux périodes d'évaluation. Ce changement est attribuable au passage du mode de récolte par arbre entier à celui de la récolte des troncs seulement dans les différentes régions du Québec. Entre les deux périodes de mesure, le volume issu de la récolte des troncs s'est accru d'environ 40 % (médiane) au Québec. Seules trois unités de gestion font exception, puisqu'elles ont connu une réduction du volume issu de la récolte

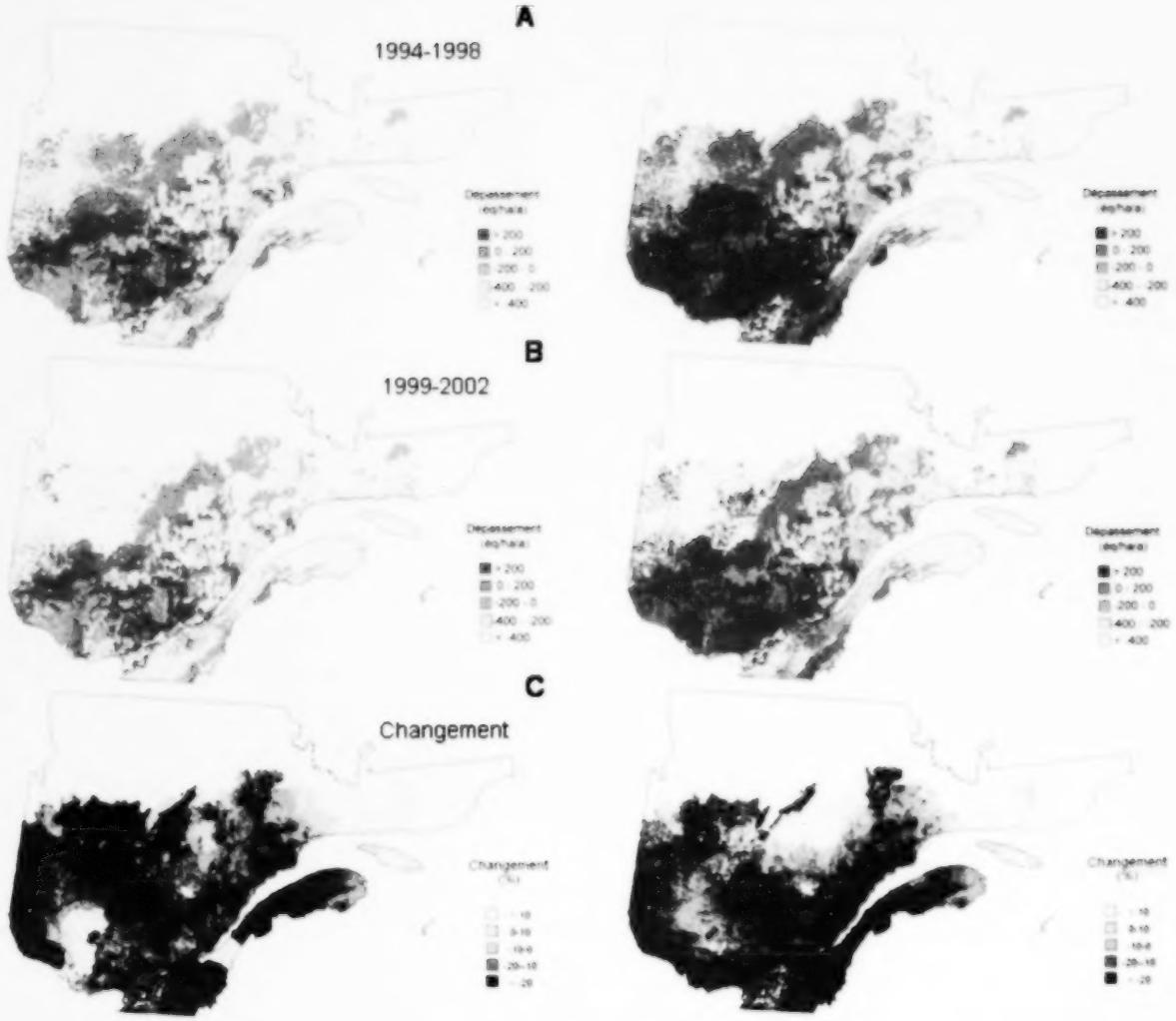

Figure 1. Évaluation du dépassement des charges critiques à court terme (figures à gauche) et à long terme (figures à droite) durant les périodes (A) 1994-1998 et (B) 1999-2002 et (C) changements évalués entre les périodes.

Figure 2. Changement du dépassement de la charge critique qui dépassait 200 éq ha^{-1} a^{-1} durant la période 1994-1998 : A) à court terme et B) à long terme, entre les périodes 1994-1998 et 1999-2002.

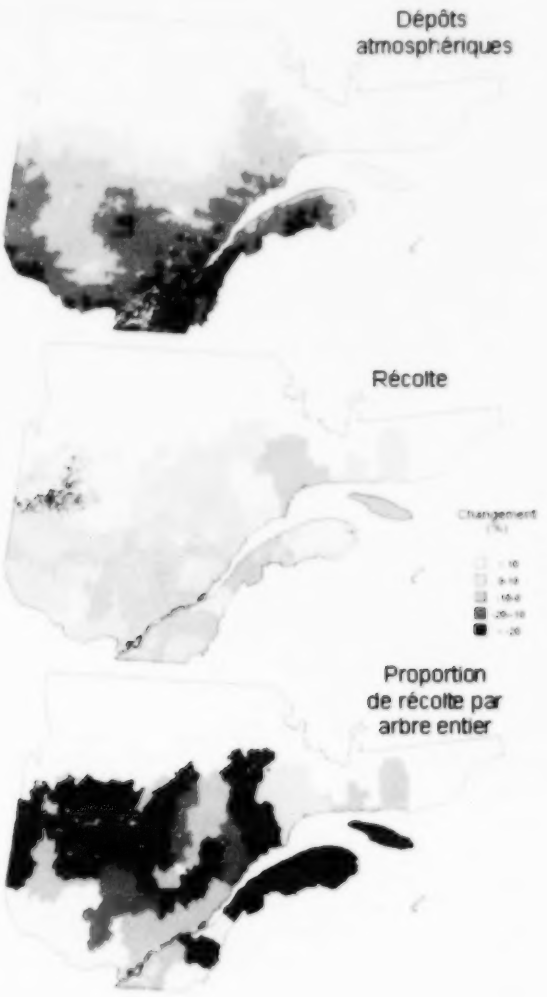

Figure 3. Changement de la quantité d'acidité nette générée 1) par les dépôts atmosphériques totaux en forêt; 2) par la récolte forestière et 3) changement de la proportion de la matière ligneuse issue de la récolte des arbres entiers par unité de gestion, entre les périodes 1994-1998 et 1999-2002.

des troncs, donc une hausse de celui de la récolte par arbre entier. Ainsi, la récolte du volume de matière ligneuse par arbre entier est passée de 36 à 58 % dans l'U.G. de la Haute-Gatineau et de 50 à 80 % dans l'U.G. de Cabonga (Outaouais) entre les deux périodes d'évaluation; elle est passée de 23 à 67 % dans l'U.G. des Appalaches (Capitale-Nationale–Chaudières-Appalaches) (Figure 3).

L'examen des cartes indique que l'évolution du dépassement de la charge critique à court terme semble plus influencée par le mode de récolte dans le sud du Québec. La diminution enregistrée entre les deux périodes d'évaluation semble reliée à la baisse de l'acidité générée par la récolte de matière ligneuse et par les dépôt atmosphériques. Par contre au nord, les dépôts atmosphériques semblent avoir plus d'importance. Pour ce qui est de l'évolution du dépassement de la charge critique à long terme, celle-ci semble déterminée en majeure partie par l'évolution de l'acidité générée par les dépôts atmosphériques.

Conclusion

L'évolution du dépassement de la charge critique en acidité à court et à long terme des écosystèmes forestiers entre les périodes 1994-1998 et 1999-2002 montre en général une baisse de 18 à 27 % et ce, sur plus de 80 % du territoire forestier québécois. Ces baisses entre les deux périodes d'évaluation sont associées à la baisse de l'acidité générée par les dépôts atmosphériques et à la baisse de la proportion de volume de matière ligneuse récolté par arbre entier. Nous avons évalué qu'une augmentation de la vulnérabilité aux dépôts acides à court terme est survenue seulement dans une faible portion du territoire forestier. Cette augmentation se situe surtout dans la région de l'Outaouais (U.G. de la Haute-Gatineau et de Cabonga), probablement en raison de l'accroissement important du volume de récolte de matière ligneuse par arbre entier entre les deux périodes d'évaluation. Quant à l'augmentation de la vulnérabilité aux dépôts acides à long terme, elle est surtout située dans la partie septentrionale du Québec, et elle est fort probablement attribuable à une sous-estimation des dépôts humides lors de la première période d'évaluation.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les membres du comité de pilotage INDI du MRNF pour leur soutien à la diffusion, les membres de la Direction de recherche en mesure et analyse d'Environnement Canada pour avoir fourni les données 1994-1998 et 1999-2002 des dépôts atmosphériques totaux à l'échelle de la province, la Direction des inventaires forestiers du MRNF pour avoir fourni les données des tesselles, M. Jean Noël, technicien spécialiste en géomatique à la DRF, pour son aide précieuse dans le traitement géographique des données, Mme Sylvie Bourassa et M. Pierre Bélanger pour la mise en page et l'édition de cette note de recherche à la DRF. Les auteurs remercient également les deux réviseurs anonymes pour leurs judicieux commentaires sur la version préliminaire de la note de recherche.

Références

Johnson, K., F.N. Scatena et Y. Pan, 2009. *Short- and long-term responses of total soil organic carbon to harvesting in a northern hardwood forest*. For. Ecol. Manage. (sous presse).

Ouimet, R. 2005. *Cartographie des charges critiques d'acidité des forêts : deuxième approximation*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Direction de la recherche forestière. Rapport interne n° 487. 48 p.

Ouimet, R. et L. Duchesne, 2008. *Impact combiné des précipitations acides et de la récolte de biomasse forestière sur le maintien à long terme de la fertilité des sols : évaluation et cartographie des charges critiques*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Rapport hors série. 38 p.

Ouimet, R. et L. Duchesne, 2009. *Dépôts atmosphériques dans les forêts au Québec : retombées actuelles en forêt et tendances au cours des 20 à 30 dernières années*. Naturaliste Canadien 133 : 56-64.

Ouimet, R., J.D. Moore et L. Duchesne, 2008. *Effects of experimental acidification and alkalinization on soil and growth and health of* Acer saccharum *Marsh*. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 171 : 858-871.

Ouimet, R., L. Duchesne, D. Houle et P.A. Arp, 2001. *Critical loads and exceedances of acid deposition and associated forest growth in the northern hardwood and boreal coniferous forests in Québec, Canada*. Water Air Soil Pollut. Focus 1 : 119-134.

Ro, C.U. et R.J. Vet, 2002. *Analyzed data fields from the National Atmospheric Chemistry Database (NAtChem) and Analysis Facility*. Air Quality Research Branch, Meteorological Service of Canada, Environment Canada, 4905 Dufferin St., Toronto, Ontario, Canada, M3H 5T4.

Shaw, M., R.J. Vet et L. Zhang, 2006. *Analyzed data fields from the National Atmospheric Chemistry Database (NAtChem) and Analysis Facility*. Air Quality Research Division, Meteorological Service of Canada, Environment Canada, 4905 Dufferin St., Toronto, Ontario, Canada, M3H 5T4.

Thomsen, M. et C. Nellemann, 2003. *Norway spruce mortality and critical air pollutant loads*. Dans : *Air Pollution, Global Change and forests in the New Millenium*. Edité par D.F. Karnosky, K.E. Percy, A.H. Chappelka, C. Simpson et J. Pikkarainen, New York, NY, Elsevier Science BV. 3 : 289-299.

UBA 2004. *Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollution effects risks, and trends. Chapter 3. Mapping critical levels for vegetation*. UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. 52 p.

Vet, R., J. Brook, C. Ro, M. Shaw, J. Narayan, L. Zhang, M. Moran et M. Lusis, 2005. *Les réactions de l'atmosphère suite aux changements dans les émissions*. Dans *Évaluation scientifique 2004 des dépôts acides au Canada*. Edité par le Service météorologique du Canada, Environnement Canada, p. 15-98.

Vet, R.J. et M. Shaw, 2004. *1994 -1998 average dry deposition velocities calculated using the MSC Air Quality Research Branch dry deposition model (RDM)*. Toronto, ON, Meteorological Service of Canada, Environnement Canada, Toronto, ON.

Le mandat de la Direction de la recherche forestière (DRF) au sein du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) est de participer activement à l'amélioration de la pratique forestière au Québec. La concrétisation de ce mandat passe par la réalisation de travaux, principalement à long terme et d'envergure provinciale, lesquels intègrent à la fois des préoccupations de recherche fondamentale et de recherche appliquée.

Elle subventionne aussi des recherches universitaires à court ou à moyen terme. Ces recherches, importantes pour le Ministère, sont complémentaires aux travaux de la DRF ou réalisées dans des créneaux où elle ne peut s'impliquer.

Elle contribue à la diffusion de nouvelles connaissances, d'avis et de conseils scientifiques.

ISBN 978-2-550-58135-2
ISBN (pdf) 978-2-550-58136-9
Dépôt légal 2010
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
© 2010 Gouvernement du Québec

Ressources naturelles et Faune
Québec